

Implementación de un sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar y control automático

(Implementation of a Photovoltaic Generation System with Solar Tracker and Automatic Control)

Edison Jonathan Guanuche Largo , Santiago Josué Polo Flores , Santiago Arturo Moscoso Bernal

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador
edison.guanuche.12@est.ucacue.edu.ec, santiago.polo@est.ucacue.edu.ec, smoscoso@ucacue.edu.ec

Resumen: Encontrar nuevos medios que permitan la generación de energías amigables con el medio ambiente es un problema constante de las sociedades modernas. Para la presente investigación se emplean los paneles solares como recurso para producir energía, complementándolos con un sistema que permita el control para la orientación adecuada de los mismos y así captar los rayos solares de manera eficiente. El objetivo es desarrollar un sistema de control que permita mejorar la captación de energía solar y, por ende, la producción de energía. Para ello, se describe el sistema de control propuesto para la adecuada ubicación del panel solar, determinando los componentes con sus características que permitan evaluar el rendimiento del sistema. Se desarrolló un sistema de control para el aprovechamiento de la energía solar mediante una estructura que seguirá la posición del sol en determinadas horas del día, dependiendo de su intensidad lumínica; además, se determinaron las características y los componentes del mismo. En conclusión, se define un sistema para el seguimiento de un solo eje, lo que permite obtener una eficiencia mayor del 12 % al 23 % en comparación con los sistemas de posicionamiento fijo.

Palabras clave: generación fotovoltaica, panel solar, seguidor solar, radiación, eficiencia energética.

Abstract: Finding new means that allow the generation of environmentally friendly energy is a constant problem of modern societies. For this research, solar panels are used as a resource to produce energy, complementing them with a system that allows control for their proper orientation and thus captures the sun's rays efficiently. The objective is to develop a control system that allows improving the collection of solar energy and, therefore, energy production. To do this, the proposed control system is described for the appropriate location of the solar panel, determining the components with their characteristics that allow evaluating the performance of the system. A control system was developed for the use of solar energy through a structure that will follow the position of the sun at certain times of the day, depending on its light intensity; In addition, its characteristics and components were determined. In conclusion, a system is defined for tracking a single axis, which allows obtaining a higher efficiency of 12 % to 23 % compared to fixed positioning systems.

Keywords: Photovoltaic generation, solar panel, solar tracker, radiation, automatic, mechanical, algorithm.

1. INTRODUCCIÓN

La implementación de paneles solares para producir electricidad a partir de la radiación solar ha sido una tendencia en los últimos años y ha marcado uno de los mayores avances en desarrollo e investigación, puesto que este modo de generación es uno de los más amigables con el medio ambiente y surge como una nueva opción de consumo de energía frente al efecto creado por las

energías convencionales. Existen varios factores que causan reducciones significativas en la eficiencia; entre ellos, la temperatura, la calidad de la celda, la suciedad y la radiación que se obtiene en la zona. Frente a estos inconvenientes, se han realizado investigaciones para encontrar formas de reducir los efectos mencionados, como mejoras en las técnicas de creación de las celdas fotovoltaicas, la utilización de áreas disipadoras de calor y el posicionamiento de los paneles solares mediante dispositivos de seguimiento, los cuales ayudan a reducir el ángulo de incidencia, aumentando así la generación de energía por parte del sistema. La posición del sol cambia diariamente y en las diversas épocas del año, por lo que la detección de la posición del sol y la elaboración de dispositivos que logren direccionar los diversos tipos de paneles perpendiculares al sol juegan un papel importante en el funcionamiento de los mismos, ya que la radiación a captarse será máxima y, por consiguiente, se optimiza la eficiencia en el sistema en relación con los sistemas clásicos en los que los paneles están fijos, lo que nos permite aprovechar al máximo la radiación solar diaria [1]. En el presente proyecto, se desarrolló un sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar de un solo eje usando un algoritmo de posicionamiento según la luminosidad mediante un microcontrolador Arduino uno, al cual se puede adaptar una secuencia de códigos con los cuales tenemos la posibilidad de orientar y monitorear las condiciones de desempeño del panel, en especial en cuanto a la luminosidad y proporción de energía generada, y por ende evaluar las condiciones de rendimiento del seguidor y del panel.

2. METODOLOGÍA

El sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar de un eje se utilizará en la unidad académica de posgrado de la Universidad Católica de Cuenca, alimentando una bomba de agua de 650 W. El seguimiento solar se realiza en un eje para poder aprovechar los mejores niveles de radiación solar, manteniendo el panel perpendicular a los rayos del sol, los cuales durante el día van de Este a Oeste, desde el amanecer hasta el atardecer. Esto también permite visualizar parámetros del sistema como potencia nominal, corriente nominal, voltaje, etc.

Dentro de la metodología se logró establecer las siguientes etapas. En la Figura 1 se describe la metodología y las etapas para el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje.

Etapas 1. En esta etapa se tomaron en consideración los factores ambientales que podrían afectar la estructura y el funcionamiento normal del seguidor solar.

Etapas 2. Elección del tipo de seguidor solar acorde con las condiciones físicas y ambientales. Para nuestra implementación en el lugar antes mencionado, se diseñó un tipo de seguidor activo que tendrá un grado de libertad en el movimiento. Este movimiento estará dado por medio de un motor AC que funcionará como un motor paso a paso. Del mismo modo, se acoplará al sistema de transmisión una cadena con piñón y corona.

Etapas 3. El diseño del mecanismo de orientación del panel solar, el cual mediante sensores fotoresistivos LDR ayudarán a determinar el ángulo de incidencia que se forma entre la luz solar y la placa solar. Este tipo de sensor convierte una señal física en magnitud eléctrica.

Etapas 4. Para el diseño de control automático, se utiliza un microcontrolador Arduino uno, el cual se encarga de procesar y definir mediante un algoritmo las acciones, como el movimiento del motor AC (Figura 2), la toma de mediciones de voltaje, corriente y potencia.

La programación se realiza en base a los tipos de sensores y actuadores utilizados, con el fin de orientar al seguidor solar en la posición adecuada.



Figura 1. Etapas establecidas para el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje.

2.1. Estructura de soporte

Se realizó un modelado de la base y la estructura que soportará al seguidor solar sus sistemas mecánicos y sus respectivos dispositivos que conforman un sistema de generación fotovoltaica esta estructura deberá ser un material muy resistente ya sea de material metálico o acero galvanizado debido a que se ubicará cerca del invernadero de la unidad académica de posgrado. Observamos del siguiente modelo secundario de un seguidor fotovoltaico (Figura 2) que orienta la placa fotovoltaica hacia el sol para la captación máxima de los rayos solares:

- **Placa fotovoltaica.** Es aquel principal componente que recibe la energía solar y la convierte en energía eléctrica, está compuesta por células fotovoltaicas que son encargadas de generar la corriente eléctrica cuando recibe los rayos solares.
- **Servomotor.** Es un motor eléctrico encargado de controlar el movimiento de la placa fotovoltaica, está conectada a un sistema de control el cual determina la posición del sol.
- **Circuito eléctrico.** Conformado por cables y componentes los cuales son necesarios para la conexión de la placa fotovoltaica, el servomotor, la batería y otros elementos eléctricos.
- **Batería.** Encargado del almacenamiento de la energía eléctrica creada por la placa fotovoltaica para su uso posterior cuando no haya suficiente luz solar.
- **Estructura.** Es la base principal el cual soporta la placa fotovoltaica, el servomotor y demás componentes del sistema de seguimiento solar, este soporte o estructura debe ser de una materia robusta y debe estar diseñada para resistir las condiciones climáticas.

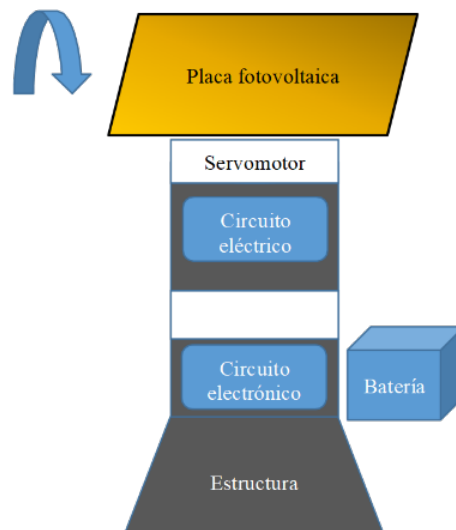


Figura 2. Modelado secundario de un seguidor solar fotovoltaico.

2.2. Cargas que Actúan

- Pesos de la estructura metálica para la placa solar.
- Paso de la placa solar, como se observa el diagrama de fuerzas en la Figura 3 y 4.

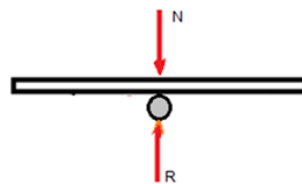


Figura 3. Etapas establecidas para el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje.

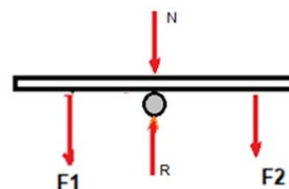


Figura 4. Modelado secundario de un seguidor solar fotovoltaico.

La placa solar tomará una orientación en torno a su eje horizontal para lograr una mayor captación de radiación solar. Esta orientación será controlada por el motor AC (Figura 2), el cual será controlado por el microcontrolador Arduino. El motor girará el panel de forma gradual, aplicando una fuerza que permitirá ajustar la posición del panel solar de acuerdo con la posición del sol.

2.3. Modelo matemático

Se debe establecer mediante el uso de un modelado matemático la posición exacta del sol con respecto a la tierra para poder conocer su exacta posición.

Ecuaciones para encontrar los ángulos del movimiento solar

Para ello, se ha utilizado la declinación solar (δ), que es el ángulo entre los rayos solares y el plano del ecuador terrestre (1), adicionalmente la fórmula para calcular el ángulo horario (ω) del

sol (2), además, se utiliza la ecuación para calcular el ángulo cenital (θ) del Sol, que es el ángulo entre la vertical local y la dirección del sol (3). Por otro lado, se utiliza para calcular el ángulo acimutal (β) del sol, que es el ángulo a lo largo del horizonte desde el norte, en el sentido de las agujas del reloj, hasta la proyección del sol en el horizonte (4).

$$\delta = \arcsen(0.39795 * \cos(0.98563(N - 173))) \quad (1)$$

$$\omega = 15(ts - 12) \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arcsen(\sen\delta\sen\phi + \cos\delta\cos\omega\cos\phi) \quad (3)$$

$$\beta = \arcsen\left(-\frac{\cos\delta\sen\omega}{\cos\alpha}\right) \quad (4)$$

Ecuaciones matemáticas preestablecidas.

$$V_{polar} = \frac{V_{tr} + V_{tl}}{2} - \frac{V_{br} + V_{bl}}{2} \quad (5)$$

$$V_{azimutal} = \frac{V_{tl} + V_{bl}}{2} - \frac{V_{tr} + V_{br}}{2} \quad (6)$$

2.4. Sistema de control de movimiento

El control de movimiento del panel solar se da mediante la interacción entre los sensores LDR que captan la radiación solar para transformarla en una magnitud eléctrica y mediante el control con microprocesador, que actúa sobre el sistema de transmisión constituido por el motor AC, una cadena con piñón y corona, como se observa el esquema en la Figura 5.

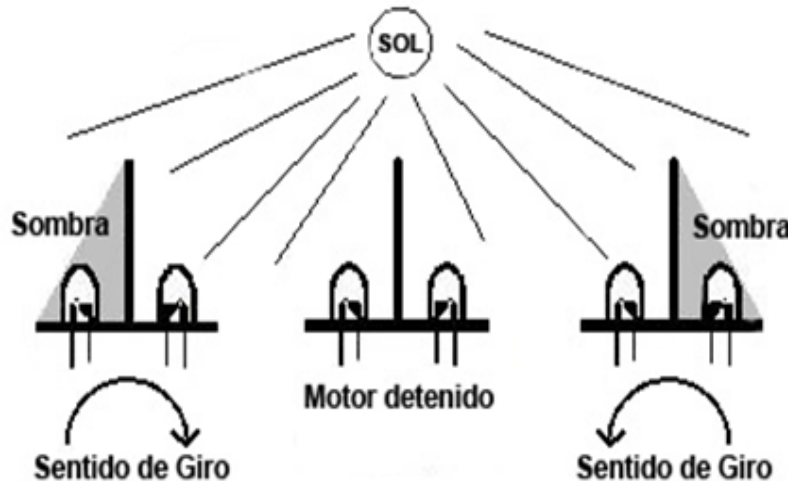


Figura 5. Control y posicionamiento del panel.

2.5. Sistema mecánico (etapa de potencia)

El dispositivo realizado está constituido por una base fija donde se acopló el panel, el motor de inclinación, el piñón, la corona y la cadena. Ya que el sistema consta de 1 grado de libertad, como se observa en la Figura 6.

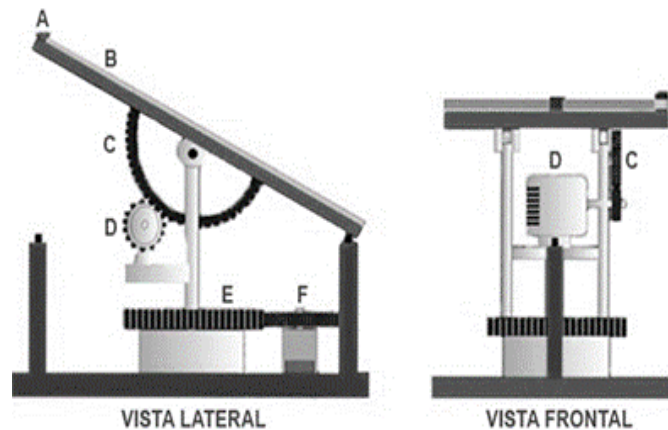


Figura 6. Representación mecánica del sistema.

- A. Sensores.
- B. Panel solar.
- C. Engranajes para movimiento de inclinación.
- D. Motor de inclinación

2.6. Sistema de adquisición de datos

Esta etapa condujo a la adquisición de datos donde se podrán notar las variaciones tanto de corriente como de tensión que produce la placa solar. Se utilizó una tarjeta Arduino uno, un regulador de carga, una batería y sensores.

2.7. Diagrama eléctrico

Se utiliza el Arduino uno como controlador programable donde se realizan las siguientes conexiones: se conectan los 2 LDR al pin analógico A0 y A1 respectivamente. El pin 9 de Arduino está conectado al motor, dado que se utiliza un motor de 5 V. Para el circuito, se instalarán las resistencias en serie para que exista un divisor de voltaje para cada resistencia, tanto la de 10K como la LDR. En la mitad de las resistencias, saldrán para el Arduino una para A0, A1, A2, A3, las cuales serán las señales analógicas variables. Una vez conectadas al Arduino, de D10 y D9 saldrán para los servomotores. D10 controlará la parte vertical y D9 controlará la parte horizontal del panel solar. Este cambio es de digital con Arduino a un analógico con los servomotores. En la Figura 7 se observa la conexión del circuito.

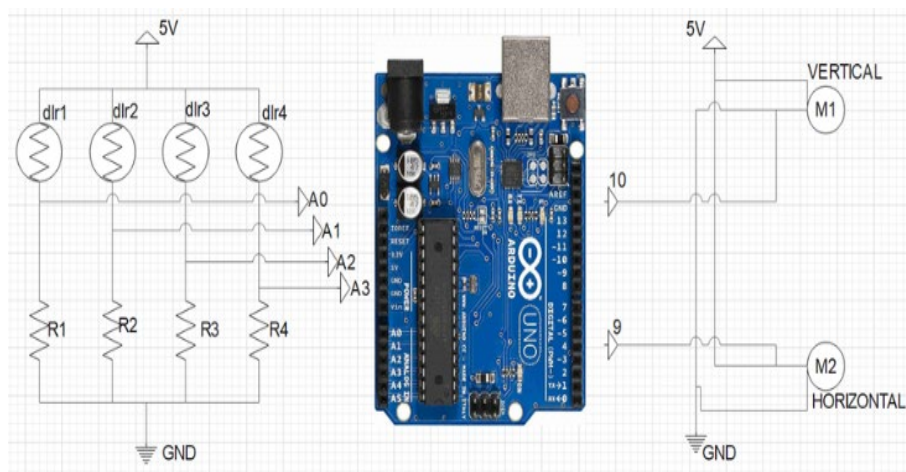


Figura 7. Diagrama eléctrico.

2.8. Programación del microcontrolador

Se la realiza introduciendo códigos al microcontrolador Arduino uno usando como lenguaje de programación C++, de manera de cumplir con el propósito de dar movilidad al seguidor solar con los actuadores utilizados.

2.9. Componentes que se utilizaron

A. Panel solar. El panel solar mostrado en la Figura 8 se colocará sobre una estructura, asegurando así su estabilidad en todo momento. Las características del panel de muestran en la Tabla 1.



Figura 8. Panel monocristalino.

Tabla 1. Panel solar EGE-350M-72.

Numero de células	72
Tipo de células	Monocristalino
Tensión máxima del sistema	1500 V
Potencia nominal	322.72 W
Corriente nominal	8.93 A
Corriente de corto circuito	9.11 A
Eficiencia del módulo	18,04 %
Dimensión	1956x992x40 mm
Peso	22,5 kg

B. Regulador de carga. Para implementar el sistema de generación fotovoltaica, se utilizó un regulador de carga tipo MPPT. Las características de este regulador se detallan en la Tabla 2 y se pueden observar en la Figura 9.



Figura 9. Regulador de carga.

Tabla 2. Regulador de carga MPPT.

Voltaje máximo de batería	12/24 V
Voltaje panel	100 V(25 C), 90 V(-25 C)
Corriente de carga	20 ^a
Corriente de descarga	20 ^a



Figura 10. Batería de Litio.

Tabla 3. Batería.

Voltaje nominal	12V
Capacidad constatada	100 Ah
Corriente máxima de descarga	1000A (5 Segundos)

C. Almacenamiento de energía. Para realizar el sistema de generación fotovoltaica se utilizó una batería de litio donde en la Tabla 3 se describen sus características, esto representado en la Figura 10.

D. Microcontrolador. Para el control de movimiento y programación se utilizó un microcontrolador Arduino uno. En la Tabla 4 se describen sus características, como se muestra a continuación, en la Figura 11.

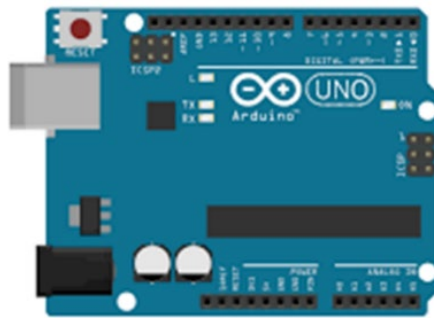


Figura 11. Microcontrolador.

Tabla 4. Microcontrolador Arduino uno.

Voltaje de operación:	5 V
Pines de E/S digitales:	14
Pines de entrada analógica:	6
Corriente DC por pin de E/S:	40 mA
Velocidad de reloj:	16 Hz

E. Sensores LDR. Para determinar la posición del sol se usaron 4 fotorresistores donde en la siguiente Tabla 5 y Figura 12 se describen sus características.

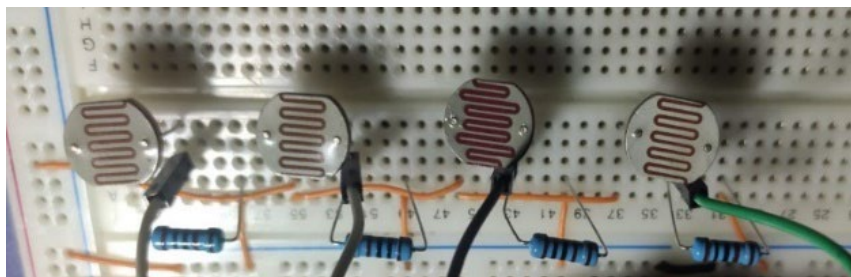


Figura 12. Sensores LDR.

Tabla 5. Sensor LDR.

Sensibilidad ajustable	
Tensión de funcionamiento	3.3 V-5 V
Salidas de conmutación digitales	(0 y 1) -D0

F. Motores AC. El motor necesario para accionar la estructura del módulo de SSFV, será de corriente alterna que mediante la incorporación de un circuito inversor trabajar con corriente continua. El motor posee una caja de reducción y multiplicador de torque de forma que la transmisión de los mismos hace que aumente el torque, pero se reduzca la velocidad angular. En la Tabla 6 y Figura 13 se describen sus características.



Figura 13. Motor AC.

Tabla 6. Motor AC

Tipo de motor	Bipolar
Pasos por revolución	200
Corriente de operación	1.7 A
Tensión de operación	1 – 4 V
Torque de retención	52 N.cm (4.6 lb.in) (5,3 kgf cm)
Peso	350 g

G. Engranajes. El acoplamiento del eje del motor con el eje se realiza con una transmisión por cadena con piñón y corona, como se demuestra en la Figura 14.

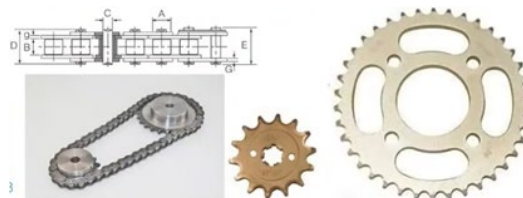


Figura 14. Engranajes piñón corona y cadena.

En el presente diagrama de bloques del sistema se detalla la metodología aplicada, como se representan en la Figura 15.



Figura 15. Programa de bloques del sistema seguidor solar.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Sistema fotovoltaico.

La energía fotovoltaica forma parte del conjunto de las energías renovables, el sistema fotovoltaico es un procedimiento de generación eléctrica que convierte la radiación solar fuente inextinguible en energía eléctrica a través de una célula solar, donde se crea el impacto fotovoltaico [2]. El esquema del efecto fotoeléctrico se representa en la Figura 16.

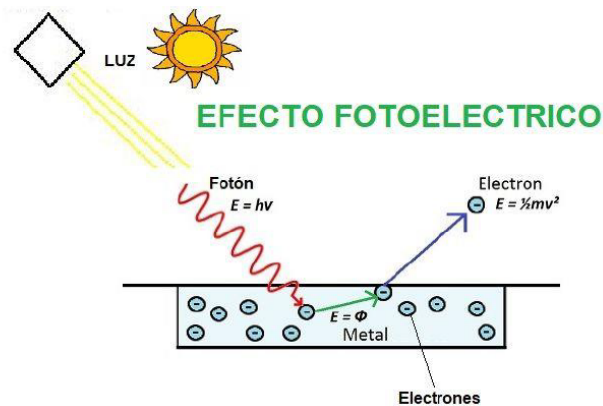


Figura 16. Efecto fotoeléctrico.

Los elementos característicos de un sistema aislado son:

3.2. Módulo fotovoltaico.

Es un dispositivo que aprovecha la energía del sol y convertirla en electricidad.

3.3. Tipo de paneles más comunes.

Hay varios tipos de tecnologías para las células solares: arseniuro, galio, entre otros.

a) **Policristalino.** Su rendimiento es bajo y se estima entre el 11 % y 15 % su costo es más barato, su color es azul, a continuación, se representa en la Figura 17.

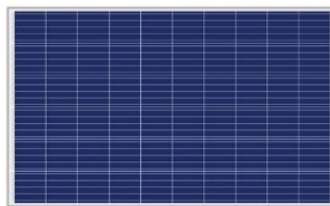


Figura 17. Panel Policristalino.

b) **Monocristalino.** Destacan por su rendimiento y eficiencia, estos alcanzan rendimiento del 17 % pero es más caro, su apariencia es negra [3]. La representación de un panel monocristalino se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Panel Monocristalino.

3.4. Banco de baterías sistema solar.

Método que se emplea para almacenar energía y luego distribuirla a toda la red mediante el inversor [1]. Los parámetros y características de este se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Tipo de batería.

Parámetro	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion
Ciclo de vida	Largo: más de 1000 cargas	Variable: puede ser igual que ni NI-Cd si se almacena y carga correctamente	Corto: 300-500 ciclos o 2-3 años
Autodescarga	Moderada: 15% - 20%	Rápido: 20% -30%	Muy lenta o nula
Capacidad	Baja: 1,2 Ah - 2,2 Ah	Moderada: 2,2 Ah - 3,0 Ah	Alta: más de 3,0 Ah
Tiempo de carga optima	Rápido	Rápido	Moderado
Mantenimiento	Alto: descarga total recomendada una vez al mes	Moderado: descarga total recomendada una vez cada tres meses	Ninguno
Efecto memoria	Alto si no se mantiene adecuadamente	Moderado: se puede evitar con una carga adecuada	
Sensibilidad	Muy resistente	Muy sensible a la temperatura	Sensible al calor y al impacto

3.5. Regulador de carga sistema solar

Tipos más usados:

- Controlador de carga PWM. Estos se caracterizan por ser económicos y dan muchas pérdidas de voltaje.
- Controlador de carga MPPT. Son los más utilizados ya que no permite que haya fallos en el sistema y controla mejor la potencia máxima [4]. El esquema de regulador utilizado se representa en la Figura 19.



Figura 19. Tipos de reguladores de carga.

3.6. Inversor solar

Es el encargado de convertir la corriente continua de 12 v o 24 v que viene de las baterías en corriente alterna que se suministra en la red de 220 v [5]. Su funcionamiento se esquematiza en la Figura 20.

Tipos de inversor:

- Onda cuadrada
- Onda modificada
- Onda senoidal



Figura 20. Inversor solar.

La radiación solar es aquella energía que libera el sol en diferentes formas como el calor y la luz visible [6]. Esto se puede detallar en la Figura 21.

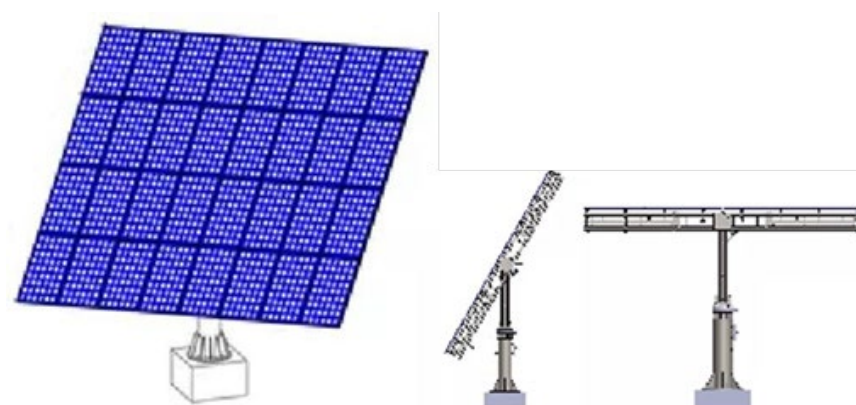


Figura 21. Ángulos de rayos solares que impacta en la tierra.

3.7. Recurso solar en la Ecuador

El sol como recurso energético en el Ecuador tiene altos niveles de radiación solar al estar en la línea equinoccial [7].

3.8. Inclinación y orientación de un Panel Solar

La orientación idónea para dirigir los paneles solares es hacia el sur (ángulo azimutal de 180°). Si orientamos los módulos hacia esta dirección, la instalación de módulos fotovoltaicos recibirá la máxima irradiación solar posible durante el día y, por tanto, el rendimiento del sistema será óptimo. Asimismo, es importante verificar que no haya sombras sobre nuestro sistema fotovoltaico [8].

3.9. La estructura del panel

La estructura es uno de los componentes más importantes, porque debe soportar su propio peso y el peso de los paneles solares fotovoltaicos, y si es de un eje tener la posibilidad mecánica de girar en el eje vertical u horizontal [9]. A continuación, se esquematiza en la Figura 22.

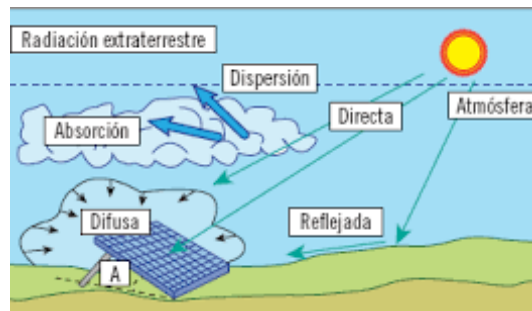


Figura 22. Estructura del panel.

3.10. Sistema de seguimiento solar

Un sistema de seguimiento solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma perpendicular a los rayos solares para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, ya sea siguiendo al sol desde el Este al amanecer hasta el Oeste en la puesta, o bien empleando el punto de máxima potencia [10]. Lo cual se puede representar en la Figura 23.

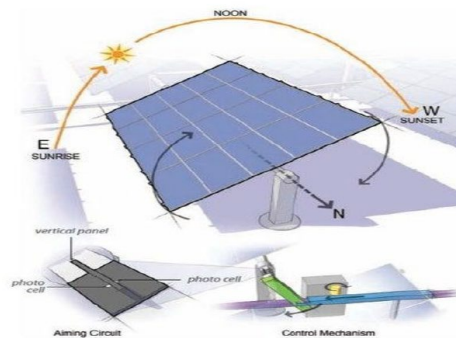


Figura 23. Seguidor solar de un eje.

La clasificación de los tipos de seguidores solares se evidencia en el diagrama presentado en la Figura 24 y los tipos de seguidores solares con sus respectivas características se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Ventajas y desventajas.

Ventajas	
UN EJE	DOS EJES
Representa un menor costo.	Seguimiento solar más preciso.
Simplicidad.	Incremento de la producción en tomo al 35% con respecto a un panel fijo.
Posibilidad de adaptación a cubiertas.	Generalmente dificultan el robo de paneles.
Desventajas	
Seguimiento solar impreciso.	Representa un mayor costo.
Menor energía captada.	

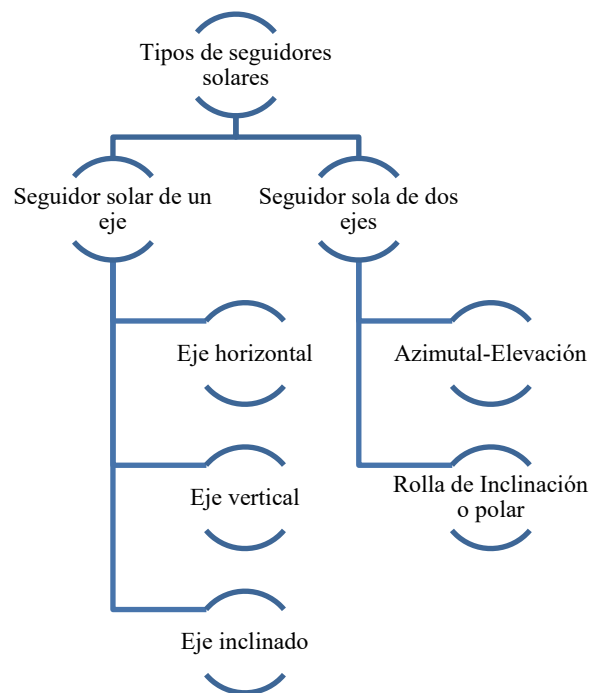


Figura 24. Tipos de seguidores solares.

3.11. Bombeo fotovoltaico

Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por ser de alta confiabilidad, larga duración y mínimo mantenimiento. Un sistema de bombeo FV es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia. Los componentes principales que lo constituyen son: un arreglo de módulos FV, un controlador, un motor y una bomba [11]. A continuación, se representa en la Figura 25.

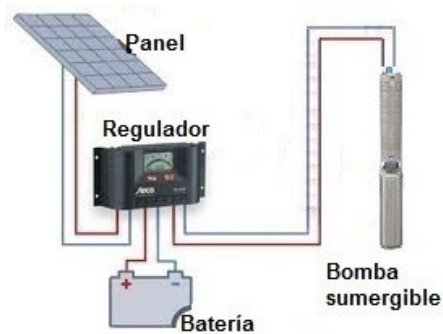


Figura 25. Bombeo fotovoltaico.

3.12. Tarjeta y software Arduino

Arduino es una de estas plataformas la cual simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, que ofrece algunas ventajas a los estudiantes, unas de ellas serán descritas a continuación [10]. El diagrama de la tarjeta y software se evidencia en la Figura 26.



Figura 26. Microcontrolador Arduino.

3.13. Relé

Los relés son dispositivos que se usan para hacer cadenas de control y para controlar el accionamiento o desconexión de diferentes máquinas y equipos eléctricos. Esto se demuestra en la Figura 27.



Figura 27. Relevador o relé.

3.14. Sensores

a) **Sensor LDR.** Permite realizar el cálculo de la dirección del sol, para que el procesador del controlador reaccione haciendo operar los actuadores, lo cual puede observarse en la Figura 28.

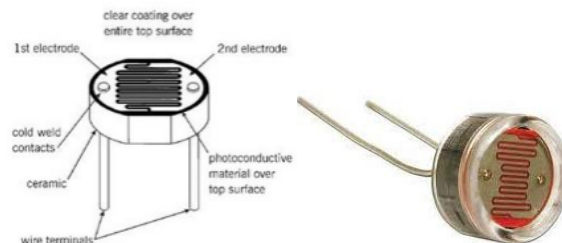


Figura 28. Sensor LDR.

3.15. Actuadores

Los actuadores son en general motores eléctricos trifásicos, cuando la estructura del módulo es demasiado grande con paneles fotovoltaicos de más de un número de 5, también se utilizan motores de corriente continua y para un control de precisión motores paso a paso [11]. Esto se demuestra en las Figuras 29 y 30.



Figura 29. Motor AC.



Figura 30. Motor a pasos.

3.16. Mecanismos de transmisión de movimiento

Son mecanismos que transmiten el movimiento, fuerza y potencia de un punto a otro sin cambiar la naturaleza del movimiento, pueden ser de dos tipos:

- A. Mecanismos de transmisión lineal.
- B. Mecanismos de transmisión circular.

3.17. Engranajes de cadena

Este sistema de transmisión circular consiste en dos ruedas dentadas de ejes paralelos, situadas a cierta distancia la una de la otra, y que giran a la vez por efecto de una cadena que engrana a ambas [9].

Ecuación para relación de transmisión:

$$r = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (7)$$

4. RESULTADOS

Para el diseño y la construcción del sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar de un solo eje se debe hacer:

Para realizar el dimensionamiento de la potencia que generara el panel solar partimos de los datos de las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Factores físicos y medioambientales.

Parámetros	Mínimo	Máximo
Temperatura	7 °C	19 °C.
Humedad.	78,96 %	86,56 %
Velocidad del Viento.	10 m/s	50 m/s
Rango de Lluvia	14 mm	94 mm

Tabla 10. La insolación mensual promedio que incide sobre una superficie horizontal (Kwh / m2 / día) en la unidad académica de posgrado.

Latitud -3.034 Lon-78.928	Promedio anual
Enero	4,17
Febrero	3,97
Marzo	4,17
Abril	4,05
Mayo	4,01
Junio	3,98
Julio	3,9
Agosto	4,2
Septiembre	4,41
Octubre	4,56
Noviembre	4,76
Diciembre	4,41
Media Anual	4,216

Tabla 11. Consumo de energía promedio de bomba de agua.

Descripción	Bomba de agua de 650 W	Energía Total
Potencia (W)	650	
Cantidad	1	
Tiempo de operación (h)	5	
Tiempo de operación / semana	7	
Potencia (KW)	0,65	
KWh	3,25	3,25
KWH/Semana	22,75	22,75

Para realizar el cálculo del sistema fotovoltaico se toma como referencia el consumo diario de la bomba; los mismos que se representan en las Ecuaciones 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

- Hora solar promedio (HSP) 3,99.

$$P_{GENERADOR} = \frac{Ed}{n_{panel} * HSP} \quad (8)$$

$$P_{GENERADOR} = \text{Potencia del Generador} \quad (9)$$

$$Ed = \text{Energía Máxima Diaria} \quad (10)$$

$$HSP = \text{Hora Solar Pico} \quad (11)$$

$$n_{\text{panel}} = \text{Eficiencia del Panel a utilizar. (0.9 por normativa)} \quad (12)$$

$$P_{\text{GENERADOR}} = \frac{3.250 \text{ Wh/dia}}{0.9 * 3.99} = 905.04W \quad (13)$$

Dentro de los resultados obtenidos de la instalación del sistema de generación fotovoltaica determinamos que se procedió a cumplir con todas las etapas planificadas y se logró construir una estructura resistente a condiciones ambientales imprevistas, como muestra en la Figura 31.



Figura 31. Engranajes con cadena.

Seguidamente instalado el sistema de generación fotovoltaica se condujo a poner en funcionamiento el sistema de seguimiento solar de tal forma de realizar pruebas de funcionamiento electromecánicas y con el fin de monitorear los parámetros eléctricos.

Se puso a primera prueba el montaje o soporte del panel solar con el motor instalado con catalinas la cual, el motor instalado no tuvo la suficiente fuerza para poder mover el peso del panel solar, la cual encontramos que el motor no es tan eficiente para el movimiento del panel solar ya que se necesita más potencia para el seguimiento al sol.

Sobre el circuito Arduino tenemos datos que nos da los componentes LDRS, en esta ocasión se tomó muestras de los rayos UV en la facultad de ingeniería, industria y construcción la cual nos dio resultados de la reflexión solar dentro de la institución, como se evidencia en la Figura 32.

```
17:47:17.485 -> SENSOR_LDR 503
17:47:19.451 -> SENSOR_LDR 533
17:47:21.423 -> SENSOR_LDR 544
```

Figura 32. Datos UV del circuito LDRS.

Realizando un estudio comparativo el sistema de generación fotovoltaica más eficiente en la captación y generación de energía eléctrica es el sistema de seguidor solar de un solo eje, debido a que tiene una eficiencia de captación que va a partir del 12 % al 23% de eficiencia comparativamente con el sistema de posicionamiento fijo dichos datos son tomados en días a lo

largo de una semana, la eficiencia de captación variara dependiendo del día y los componentes climáticos, de tal forma que se log de esta forma que con el uso de este sistema optimizaremos de un sistema solar fotovoltaico el mejoramiento de captación de rayos UV mejorando así la eficiencia y potencia al 100 % del panel solar.

5. CONCLUSIONES

- Se realizó el sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar y la programación del mismo de una manera satisfactoria cumpliendo con el funcionamiento esperado que optimizará el aprovechamiento de la energía solar mediante una estructura que seguirá la posición del sol en determinadas horas del día dependiendo de su intensidad lumínica.
- Se cumplió con los objetivos planteados de desarrollar un mecanismo capaz de mejorar la captación de energía solar a un bajo costo y con ayuda de un microcontrolador como lo es Arduino, de igual manera se implementó de manera comprensible el uso de modelos matemáticos para describir el funcionamiento dinámico del sistema propuesto.
- La estructura diseñada tiene características de resistencia a la intemperie y orientara al panel solar siempre perpendicularmente a los rayos del sol.
- Se pudo comprobar que los dispositivos seleccionados para este tipo de generación fotovoltaica son fundamentales para abastecer la demanda energética de la bomba de agua haciéndolo autónomo energéticamente.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido desarrollado en el Laboratorio de Gestión de Calidad Educativa dentro del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología de la Universidad Católica de Cuenca forma parte de los proyectos de investigación formativa en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca, pertenece al proyecto de investigación “INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN EL CENTRO DE HIPOTERAPIA KAWALLU” con código PIFCIV22-22.

REFERENCIAS

- [1] E. Martínez, “Diseño y construcción de prototipo de seguidor solar fotovoltaico con sistema mecatrónico autónomo”, Tesis de grado, Universidad Antonio Nariño, Tunja, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2526>
- [2] S. V. Arpi Puga y B. G. Prado Bermeo, “Diseño de un seguidor solar de doble eje para un sistema de energía fotovoltaica en el centro de salud de la comunidad de Yaapi”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21948>
- [3] Á. Campero, I. Ventura, G. Martínez, y G. Yáñez, “Implementación de equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica,” *Rev. Ingeniantes*, vol. 1, no. 2, pp. 12–17. [En línea]. Disponible en: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes2no2vol1/2>. Implementación de Equipo Solar Didáctico para Optimizar la Captación Solar Fotovoltaica..pdf
- [4] A. Escobar, M. Holguín, y J. Osorio, “Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico,” *Sci. Tech.*, vol. 16, no. 44, pp. 245–250, abr. 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316046>
- [5] G. Vera, y D. Ramos, “Implementación de un módulo para el análisis de la trayectoria solar en paneles fotovoltaicos”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20021>
- [6] C. Zúñiga y J. Granda, “Diseño e implementación de un prototipo medidor de radiación ultra

violeta alimentado por paneles solares”, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17253>

- [7] M. B. Gonzales, A. E. Cohaila, y E. C. Paredes, “Diseño De Un Sistema De Seguimiento Solar De Un Eje Para El Aprovechamiento De La Energía Solar En Sistemas Fotovoltaicos,” *Ciencia y Desarrollo*, no. 10, pp. 43–46, abr. 2019. [En línea]. Disponible en: [10.33326/26176033.2006.10.196](https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.196).
- [8] L. Guachún, “Estudio de factibilidad de un sistema de energía renovable aplicado a un nodo de servicio de telecomunicaciones”, Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30378>
- [9] M. Pacheco, I. Tapia, and E. Guevara, “Diseño e implementación de un seguidor solar de un eje para la optimización de un sistema fotovoltaico de 100 W aplicando cálculos matemáticos y automatización industrial,” *Ciencia Digital*, vol. 4, no. 3, pp. 336–354, aug. 2020. [En línea]. Disponible en: [10.33262/cienciadigital.v4i3.1359](https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1359).
- [10] J. Pelayo, A. Luna, F. Bernabe, y B. Guzmán, “Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo / Comparison between a photovoltaic solar tracker efficiency and a fixed photovoltaic system,” *CIBA Rev. Iberoam. las Ciencias Biológicas y Agropecu.*, vol. 7, no. 13, pp. 105–129, jul. 2018. [En línea]. Disponible en: [10.23913/ciba.v7i13.76](https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.76).
- [11] R. Arreola, A. Quevedo, M. Castro, Á. Bravo, and D. Reyes, “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. 8, pp. 1715–1727, 2017, doi: [10.29312/remexca.v6i8.490](https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.490).

